



**JOSÉ ROBSON SILVA MACHADO**

**Revisão Histórica das Missões Espaciais a Marte e  
Análise dos Sistemas de Transmissão de Dados  
Utilizados Entre as Sondas e as Estações Terrestres**

**João Pessoa, julho de 2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP  
Biblioteca Nilo Peçanha –IFPB, *Campus* João Pessoa

M149r Machado, José Robson Silva.  
Revisão histórica das missões espaciais a Marte e análise dos sistemas de transmissão de dados utilizados entre as sondas e as estações terrestres / José Robson Silva Machado. – 2025.  
47 f. : il.

TCC (Graduação – Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) - Instituto Federal da Paraíba – IFPB / Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.  
Orientador: Dr. Luís Romeu Nunes.

1. Telecomunicações. 2. Sonda. 3. Estação Terrestre. 4. Terra. 5. Marte. I. Título.

CDU 621.391.6

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DA PARAÍBA**

**CAMPUS JOÃO PESSOA**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE  
TELECOMUNICAÇÕES**

**JOSÉ ROBSON SILVA MACHADO**

**Revisão Histórica das Missões Espaciais a Marte e  
Análise dos Sistemas de Transmissão de Dados  
Utilizados Entre as Sondas e as Estações Terrestres**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção de grau no Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador: Dr. Luís Romeu Nunes.

**João Pessoa, julho de 2025**

**JOSÉ ROBSON SILVA MACHADO**

# **Revisão Histórica das Missões Espaciais a Marte e Análise dos Sistemas de Transmissão de Dados Utilizados Entre as Sondas e as Estações Terrestres**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba no Campus João Pessoa como requisito à obtenção do grau de Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

**Aprovado Pela Banca Examinadora em: 07 de Agosto de 2025.**

Documento assinado digitalmente  
 **LUIS ROMEU NUNES**  
Data: 10/09/2025 14:19:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Luís Romeu Nunes**  
**Orientador**

Documento assinado digitalmente  
 **PATRIC LACOUTH DA SILVA**  
Data: 11/09/2025 08:34:38-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Patric Lacouth da Silva**  
**Avaliador interno**

Documento assinado digitalmente  
 **ERIK FARIAS DA SILVA**  
Data: 10/09/2025 18:40:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Prof. Dr. Erik Farias da Silva**  
**Avaliador interno**

**João Pessoa, Julho de 2025.**

*A imaginação é mais importante do que o conhecimento  
(Albert Einstein).*

## **DEDICATÓRIA**

Dedico ao professor RENÊ VON BROWN N. MACHADO, meu amado filho (em memória).

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por tudo.

Aos professores Joabson Nogueira de Carvalho, Gustavo Araujo Cavalcante, Erik Farias Da Silva, Rossana Moreno Santa Cruz, Jefferson Costa e Silva, Edvaldo Da Silva pires, Patric Lacouth da Silva, e Annuska Macedo de Franca Paiva, pelo constante apoio, incentivo, dedicação e interesse nessa minha formação, além da amizade é claro.

À minha mãe, que com seus 104 anos era bastante lúcida e com memória de elefante, sempre ativa, tendo falecido recentemente em 28 de junho de 2024, dormindo para nunca mais acordar, provavelmente sonhando com os anjos.

## Resumo

Há até algumas décadas atrás a exploração do espaço era algo ativo apenas na ficção científica, principalmente na área cinematográfica. Atualmente a realidade é bem diferente, com base em extraordinários avanços tais como na astrofísica e na astronomia, que fizeram com que o homem vazasse as fronteiras do planeta Terra. São conquistas incríveis. Junto com essa evolução, segue a área das telecomunicações, com seus adventos tecnológicos, de alguma maneira vencendo a tirana geografia no globo todo, bem como fora dele. Uma expressiva conquista do homem foi a de enviar sondas à Marte, um grande passo na conquista do espaço. Este trabalho explora detalhes técnico-científicos de como ocorre a comunicação de uma sonda com uma estação terrestre criada para isso. Trata-se de um trabalho multidisciplinar, o qual relaciona aspectos técnicos de diversas áreas do conhecimento humano, com destaque para a comunicação espacial.

**Palavras-chave:** Sondas espaciais, Estação Terrestre, Comunicações interplanetária, Marte.

## **Abstract**

Until a few decades ago, space exploration was only active in science fiction, mainly in the cinematic area. Currently, the reality is very different, based on extraordinary advances such as astrophysics and astronomy, which have caused man to expand beyond the borders of planet Earth. These are incredible achievements. Along with this evolution, the area of telecommunications follows, with its technological advents, somehow overcoming the tyrannical geography across the globe, as well as beyond. A significant achievement of man was sending probes to Mars, a great step in the conquest of space. This work explores technical-scientific details of how a probe communicates with a ground station created for this purpose. This is a multidisciplinary work, which relates technical aspects from different areas of human knowledge, with emphasis on spatial communication.

**Keywords:** Space probes, Earth Station, Interplanetary Communications, Mars.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados de 8 planetas do sistema solar obtidos por uma sonda .....	<b>16</b>
<b>Tabela 2:</b> Informações de algumas sondas na história .....	<b>19</b>
<b>Tabela 3:</b> Informações de dois corpos celestes tiradas pelas sondas .....	<b>21</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Cinturão de asteroides .....	17
<b>Figura 2:</b> Imagem de Mercúrio .....	18
<b>Figura 3:</b> Sonda Mariner 10 .....	18
<b>Figura 4:</b> Imagem de Vênus .....	19
<b>Figura 5:</b> Foto da Terra e da Lua num quadro só, tirada pela Voyager 1 (Nasa) .....	20
<b>Figura 6:</b> Foto de Saturno tirada pela sonda Voyager 1 .....	22
<b>Figura 7:</b> Foto de Marte .....	23
<b>Figura 8:</b> Equipamento espacial Cassini-Huygens (NASA) .....	23
<b>Figura 9:</b> Karl Jansky e o primeiro radiotelescópio .....	25
<b>Figura 10:</b> Radiotelescópio de GroteReber .....	25
<b>Figura 11:</b> Espectro de frequência .....	26
<b>Figura 12:</b> Espectro de frequência destacando as frequências .....	27
<b>Figura 13:</b> Características do sinal .....	28
<b>Figura 14:</b> Comparação das modulações ASK, FSK e PSK .....	28
<b>Figura 15:</b> PCM .....	30
<b>Figura 16:</b> Emissor e do Receptor .....	31
<b>Figura 17:</b> Visão da transmissão satélite-antena .....	31
<b>Figura 18:</b> Outra visão da comunicação via satélite .....	32
<b>Figura 19:</b> Visão da transmissão a laser .....	33
<b>Figura 20:</b> Sonda Mars (NASA) .....	36
<b>Figura 21:</b> Foto supostamente da superfície de Marte .....	36
<b>Figura 22:</b> Sonda Viking (NASA) .....	37
<b>Figura 23:</b> Primeira imagem tirada da superfície de Marte .....	37
<b>Figura 24:</b> Sonda Curiosity na órbita de Marte .....	38
<b>Figura 25:</b> Sonda Perserverance (NASA) .....	39
<b>Figura 26:</b> Orbitador Mars Express.....	40
<b>Figura 27:</b> Rover Zhurong na superfície de Marte.....	40
<b>Figura 28:</b> Ilustração do Mangalyaan.....	41
<b>Figura 29:</b> Sonda Hope Probe da missão Emirates Mars Mission.....	42
<b>Figura 30:</b> Comunica sonda com a Terra (pesquisa direta) .....	42

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. SONDAS ESPACIAIS E SUAS DESCOBERTAS .....</b>	<b>16</b>
2.1 COMUNICAÇÃO DA TERRA COM O ESPAÇO .....	24
2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS NA COMUNICAÇÃO TERRA-MARTE .....	26
2.3 A COMUNICAÇÃO VIA LASER .....	32
<b>3. MISSÕES REALIZADAS .....</b>	<b>33</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Sem dúvidas uma das áreas mais evoluídas no mundo é a da telecomunicação. Um exemplo disso são os atuais sistemas digitais de comunicação que ligam os continentes através da fibra óptica, numa substituição gradativa aos sistemas analógicos e via satélite que existem no planeta. As redes de comunicação são outro exemplo notável do avanço nas comunicações, sobretudo aquelas que são o alicerce da Internet, tais como os enlaces de longas distâncias e os *backbones* de redes. Enfim, a “Tirania da Geografia deve estar sendo Vencida” (TANENBAUM, 2010).

Um sistema de telecomunicações seja ele qual for, é composto de um conjunto de equipamentos, o qual tem como objetivo a transmissão de informação entre pontos geograficamente distintos, chamados de fonte e destino, com uma garantia de qualidade (RIBEIRO, 2015, p.6).

Pode-se afirmar que a principal finalidade dos sistemas de telecomunicações é o de permitir a comunicação entre pontos, independentemente de onde eles estejam. Essa realidade segue cada vez mais precisa e instantânea no globo terrestre, com redes de transmissão de dados extremamente rápidas e eficientes, ligando bairros, cidades, estados, países e continentes. As transmissões via satélite representam bem esse fato.

A comunicação via satélite é aquela que utiliza como forma de transmitir dados ondas de rádio (normalmente microondas) enviadas por satélites artificiais em órbita da Terra. Com o avanço das tecnologias em microinformática, o satélite passou a ser também o mais importante meio de transmissão de dados, podendo interligar qualquer parte do mundo em tempo quase real. Através da comunicação via satélite foram possíveis vários progressos, dentre eles e com destaque a área das telecomunicações e o transporte aéreo. Isto melhorou substancialmente a segurança e o desenvolvimento mundial (GENNARO, 2008, p1).

Entretanto, as transmissões geográficas distantes, e até locais, com fibra óptica se apresentam como o futuro, com custo de implantação bem menos onerosos do que os sistemas via satélite, e com características técnicas altamente eficientes, tais como banda, velocidade, imunidade a ruídos. Da mesma forma, evoluem as transmissões sem fio, atualmente rápidas, seguras e eficientes. Segundo Tanenbaum (2010) o futuro é que as transmissões de longa distância sejam feitas com fibra e as locais sem fio.

De fato, os sistemas de transmissão usados na terra evoluíram muito. Eles permitem, por exemplo, que uma cirurgia seja realizada de maneira remota, à distância. É extraordinário. Porém, o homem de diversas maneiras já se faz ativo também no espaço. A comunicação espacial é outra realidade de destaque no processo da evolução humana. Elas começam justamente com os satélites, da terra para o espaço, e do espaço para a terra, e contemplam diversas finalidades.

Os satélites artificiais são construídos para diferentes finalidades como telecomunicação, espionagem, experimento científico – nas áreas de astronomia e astrofísica; geofísica espacial; planetologia; ciências da terra, atmosfera e clima – meteorologia e sensoriamento remoto. Existem também os satélites de Posicionamento Global (GPS) que giram em órbitas altas (20.200 quilômetros de altitude) e são importantes na navegação terrestre, aérea e marítima, além de ajudar na localização de pessoas, objetos e lugares (MENEZES, 2022, p.9).

Uma importante comunicação que se dá nesse processo evolutivo é com as sondas espaciais que são enviadas com diversas finalidades para o espaço. Um exemplo é de sondas enviadas para o planeta Marte. O envio de sondas no espaço é algo datado de vários anos atrás, na corrida mundial pela conquista do espaço, com destaque para os americanos, embora os russos e chineses também o fizeram em épocas próximas.

Nossa aventura (EUA) começou no dia 20 de agosto de 1977 com o lançamento da Voyager 2 e logo depois, em 05 de setembro de 1977, com o lançamento da Voyager 1. As sondas tinham como objetivo estudar os primeiros planetas gasosos a partir do Sol, Júpiter e Saturno, que até então só tinham sido visitados pelas sondas Pioneer 10 e 11, respectivamente em 1973 e 1974 (MENEZES, 2022, p.7).

A finalidade das sondas é o estudo do espaço e dos corpos celestes, principalmente de planetas. Uma maneira relevante de fazer isso é através de poderosas fotografias que são tiradas de áreas das superfícies dos planetas. É no envio dessas fotografias que se conhece a superfície e consiga uma melhor comunicação das sondas com as estações aqui na Terra. Mas não são apenas fotos, imagens também são produzidas com o intuito de analisar dados dos planetas. O primeiro teste consistiu na troca de informações com a sonda Epoxi, que dá sequência à missão Impacto Profundo, que encontrou o cometa Hartley em 2010. Também foram utilizadas as sondas que estão em órbita de Marte, o que justifica o nome Internet Interplanetária.

A Internet da Terra não pode ser simplesmente replicada no espaço, pois lá não se pode garantir uma conexão contínua entre os computadores. Por isso, o protocolo DTN assume que os diferentes nós da rede se comuniquem sempre que as condições permitirem.

Caso não haja conexão, cada roteador deve armazenar os dados até que a transmissão seja possível.

Agora, os cientistas acabam de acionar o primeiro ponto de acesso da Internet Interplanetária a bordo da Estação Espacial Internacional (ISS). O objetivo inicial é a automatização da transmissão dos dados científicos obtidos nos laboratórios da ISS para os controles em terra.

É justamente os detalhes e as características técnicas e científicas dessa comunicação entre uma sonda e uma estação terrestre a principal finalidade do presente trabalho. Elucidar esse aspecto tecnológico ajude a entender parte significativa do aparato físico e astronômico que está por trás da engenhosidade nessa comunicação. Dentre os produtos finais, pode-se reconhecer o futuro da humanidade na exploração do espaço, beneficiando-se de algumas maneiras dessa realidade, a exemplo da busca por recursos e até de moradia em outros planetas.

## 2. SONDAS ESPACIAIS E SUAS DESCOBERTAS

Uma sonda é usada, sobretudo, para estudar o sistema solar. Suas missões tem como principais finalidades conhecer o sol, os planetas e seus satélites naturais e anéis, asteróides e cometas. No passado alguns planetas, tais como Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, puderam (e podem) ser observados a olho nu. Em seguida, com a criação e evolução das lunetas e telescópios pôde-se observar atentamente mais corpos espaciais.

A utilização da luneta, pelo astrônomo italiano Galileo Galilei, para observar os corpos celestes, no século XVII, foi um marco na Astronomia. Além da descoberta dos satélites de Júpiter (Io, Europa, Ganimede e Calisto), chamados de satélites galileanos, das fases de Vênus e dos anéis de Saturno, essas novas informações foram fundamentais para, de um lado, confirmar a teoria heliocêntrica, na qual o Sol é o centro do sistema e os planetas estão em órbita ao seu redor, e, de outro, refutar a teoria geocêntrica vigente até então, de que a Terra era o centro do sistema (SANTOS JUNIOR, et al., 2023).

Entretanto, as grandes descobertas e confirmações astronômicas foram feitas mesmo com as sondas, conforme pode ser visto na Tabela 1, que mostra dados sobre alguns planetas conhecidos, mas concretizados com a visita de uma sonda americana.

**Tabela 1** – Dados de 8 planetas do sistema solar obtidos por uma sonda.

PLANETA	DISTÂNCIA AO SOL (UA)	RAIO (Km)	RAZÃO DE MASSA ( X 10 <sup>24</sup> kg)
Mercúrio	0,4	2440	0,3
Vênus	0,7	6052	4,9
Terra	1	6378	6
Marte	1,5	3394	0,64
Júpiter	5,2	71398	1898,6
Saturno	9,5	60330	568,5
Urano	19,2	26200	86,8
Netuno	30,1	25225	102,4

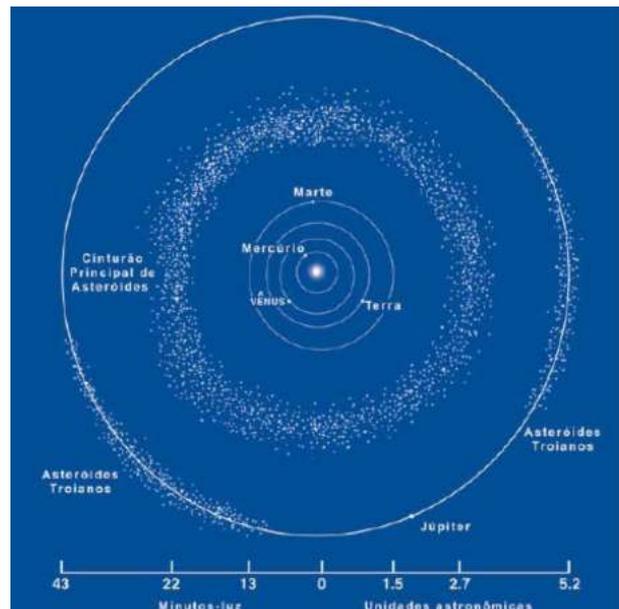
UA (Unidade Astronômica, que vale  $1,5 \times 10^8 km$ ).

A massa do Sol é  $1,2 \times 10^{30} kg$  e seu raio é aproximadamente 109 vezes maior que o raio da Terra.

Fonte: SANTOS JUNIOR, et al.(2023).

Outra finalidade das sondas é a descoberta de asteroides. Um asteroide é um corpo pequeno quando comparado a um planeta. Basicamente eles são irregulares em termos de geometria e possuem uma órbita heliocêntrica em relação ao sol. Entre as órbitas Júpiter e Marte onde se concentra o maior número de asteroides no sistema solar, a exemplo dos asteroides denominados de troianos, que podem ser vistos na Figura 1.

**Figura 1:** Cinturão de asteróides

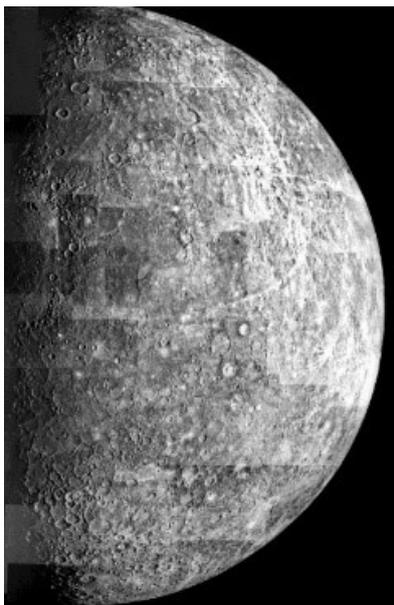


Fonte: WINTER (2024).

Outro notável corpo de um sistema solar também estudado pela sonda são os cometas. Esses corpos possuem “um núcleo de aproximadamente 10km, uma cauda que pode chegar a 1UA e uma coma, a qual é localizada próxima ao núcleo do cometa e é composto por gás e poeira ejetados do próprio cometa” (WINTER, 2024). Um dos fatores complicadores no estudo de corpos espaciais é a distância deles à Terra. Quanto maior essa distância mais difícil fica de estudá-los, e isso se confirma pela natural atenuação do sinal de comunicação com a distância.

Uma definição simples, porém importante, sobre sonda pode ser vista em Silveira (2013), que cita: “Uma sonda espacial é um satélite que se destina a estudar outros corpos celestes, existindo quatro tipos: atmosférica, orbite, lande e rover.” A ideia é que uma sonda espacial é um artefato tecnológico usado pela astronomia cuja uma das finalidades é a produção de fotos e imagens dos corpos celestes, conforme mostra a Figura 2, numa imagem de Mercúrio.

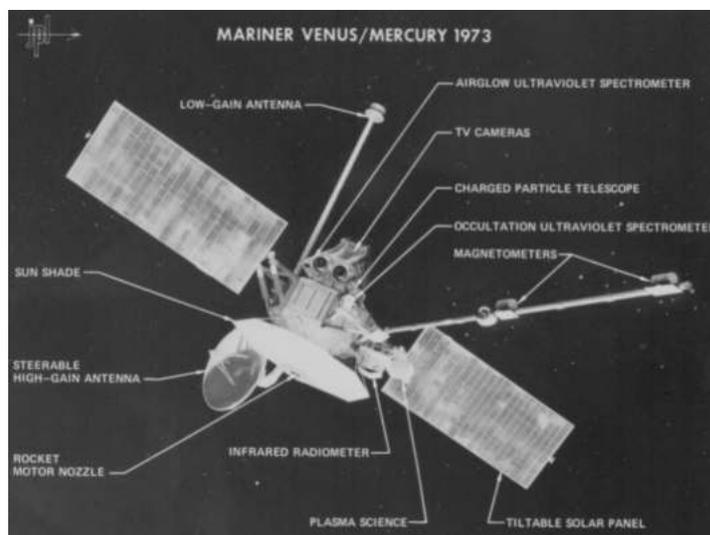
**Figura 2:** Imagem de Mercúrio



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7).

A foto da Figura 2 foi tirada por uma sonda a 327km do planeta Mercúrio, em 1973, conhecida como sonda Mariner 10, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 3:** Sonda Mariner 10



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7).

Alguns dos importantes dados levantados pelas sondas são a existência ou não de atmosfera, a presença ou não de água ou gelo, inclusive gelo subterrâneo, rochas, vulcões, bem como o tipo do campo magnético, gravidade, tipo da superfície e do núcleo, existência de

ferro e de outros elementos químicos conhecidos. Além de poderosos mecanismos de fotografia e filmagem, as sondas (principalmente as atuais) possuem espectrômetros de raios-X, justamente para fazer investigações abaixo da superfície dos corpos. A Figura 4 mostra uma foto de Vênus tirada pela sonda Venera 4.

**Figura 4:** Imagem de Vênus



Fonte: SILVERIA, (2013, p.7).

A Tabela 2 mostra algumas informações importantes das principais sondas que existiram (Silveira, 2013, p. 12-21).

**Tabela 2:** Informações de algumas sondas na história.



**Venera 4**

- Primeira a entrar em Vênus.
- Transmitiu dados por pouco tempo.
- Lançada pelo foguete R-7 Semyorka.
- Tinha poucos recursos científicos.
- Pesava aproximadamente 387kg.



**Venera 7**

- Projetada para estudar Vênus, principalmente de sua superfície.
- Sobreviveu por 23 minutos.
- Primeira a transmitir a partir da superfície de outro planeta.
- Já a Venera 13 foi a primeira a transmitir imagens coloridas.



**Vega**

- Aproveitou a passagem do cometa Halley e o estudou. Possuem módulos orbitais para isso.
- Tirou mais de 1.200 fotos do cometa Halley.
- Pesava aproximadamente 1.500kg.
- Detectou anartosita, uma rocha rara na Terra, mas comum nas terras altas lunares.



**Vega Express**

- Lançada em 2005 pelo foguete Soyuz-fregat.
- Chegou em Vênus em 2006.
- Pesava aproximadamente 1.270kg.
- Possuía 93 instrumentos científicos.
- Detectou ventos de até 400km/h em Vênus.
- Descobriu também gelo em Vênus.

**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7).

Um marco significativo na história da astronomia foi representado pela sonda Voyager, que possuiu duas variantes, conhecidas como Voyager 1 e Voyager 2, sendo referidas como sondas irmãs. Elas foram idealizadas por Carl Sagan (1934–1996), um físico da Universidade de Cornell, e ambas são reconhecidas como um divisor de águas na história da exploração espacial. As sondas realizaram diversas proezas, incluindo a primeira imagem que capturou a Terra e a Lua juntas em um único quadro, conforme ilustrado na Figura 5. Lançadas em 1977, elas chegaram a Júpiter em março e julho de 1979, respectivamente (MENEZES, 2022, p.55).

**Figura 5:** Foto da Terra e da Lua num quadro só, tirada pela Voyager 1 (Nasa).



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7).

De uma maneira geral as sondas são de fato usadas para o levantamento de dados dos corpos celestes. Suas missões sempre trazem alguma informação nova ou a confirmação de alguma suposição científica (teorias, teses, postulados). Como exemplo, a Tabela 3 mostra dois planetas e algumas informações relevantes sobre eles tiradas pelas sondas (Menezes, 2022).

**Tabela 3:** Informações de dois corpos celestes tiradas pelas sondas.



Mercúrio

- Primeiro planeta a partir do sol.
- Completa uma volta em torno sol em 88 dias, o que o torna o planeta mais rápido do sistema solar.
- Não tem atmosfera.
- Possui temperatura em torno de  $430^{\circ}C$  durante o dia e  $-170^{\circ}C$  à noite.
- Um dia em Mercúrio equivale a 59 dias terrestres.



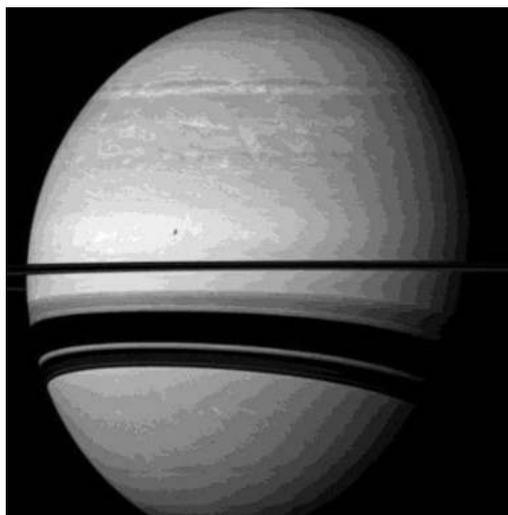
Vênus

- Segundo planeta do sistema solar e o mais brilhante.
- Sua atmosfera é extremamente densa, composta por 95% de gás carbono e pressão 95 vezes maior do que na Terra com núvens de ácido sulfúrico.
- Seu efeito estufa o torna o planeta mais quente do sistema solar, com temperaturas próximas e  $464^{\circ}C$ .
- Seu ano tem 225 dias de duração.
- Devido sua rotação retrógrada, o tempo entre o nascer e o pôr do sol é de 117 dias.

**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7).

Fazendo-se um destaque ao planeta Saturno, com dados levantados pela Voyager 1. É um planeta gasoso, pois possui uma imensa quantidade de gás no estado sólido, como também possui um sistema de anéis visíveis. Outra característica importante de Saturno é que ele possui 56 luas (Menezes, 2022). A Figura 6 mostra uma foto de Saturno, tirada pela sonda Voyager 1.

**Figura 6:** Foto de Saturno, tirada pela sonda Voyager 1.



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7)

Esses planetas foram citados como exemplos da capacidade e finalidade das sondas. Evidentemente que as missões continuam explorando cada vez mais o sistema solar. Porém, trabalho nenhum pode falar de astronomia e deixar de fora Marte, o planeta mais promissor para os humanos, pois é reconhecido como o que mais se assemelha ao planeta Terra (Mata, 2019). A atmosfera de Marte, por exemplo, possui elementos iguais aos da Terra, tais como nitrogênio,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , argônio, oxigênio, gás carbono. Descobriu-se água também em seu subsolo (Souza, 2013).

Marte tem estações do ano, que duram o dobro das estações terrestres. A atmosfera (da qual 95,7% é formada de dióxido de carbono, 2,7% de Nitrogênio e 1,6% de Argônio) é tênue e não consegue segurar o calor. Isso, além da baixa condutividade térmica de seu solo, faz com que dificilmente as temperaturas atinjam valores superiores a  $0^{\circ}C$  (mas que podem alcançar  $20^{\circ}C$  no equador, durante o verão). Já as mínimas chegam a  $-130^{\circ}C$  nos polos, onde chega a nevar (neve carbônica) (SOUZA, 2013, p.3).

Um dia em Marte dura um pouco mais que 24 horas, outra notável semelhança com a Terra. Seu período de translação é 687 dias, quase o dobro da Terra. A cor vermelha da superfície de Marte é devido a imensa quantidade de óxido de ferro. Marte tem duas luas, chamadas de Deimos e Fobos (MENEZES, 2022). A Figura 7 mostra uma foto de Marte.

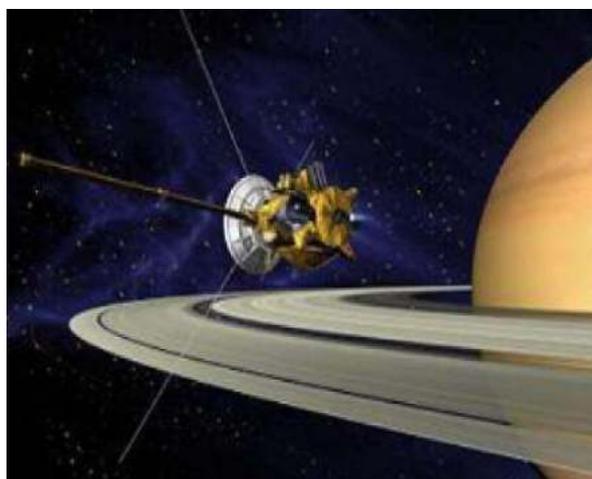
**Figura 7:** Foto de Marte



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7)

Em 2004, uma missão espacial dos Estados Unidos lançou uma sonda para a órbita de Saturno com o objetivo de investigar o planeta e suas luas. Essa iniciativa é conhecida como missão Cassini-Huygens, nome originado dos dois principais elementos envolvidos: Cassini, o satélite artificial, e Huygens, a sonda. A principal tarefa da sonda Huygens era penetrar na atmosfera de Titã e transmitir imagens. A Figura 8 apresenta Saturno e esse equipamento.

**Figura 8:** Equipamento espacial Cassini-Huygens (NASA).



**Fonte:** SILVERIA, (2013, p.7)

Em julho de 2004 a missão espacial *Cassini-Huygens* organizada pela NASA/ESA entra em órbita de Saturno com o intuito de estudar o planeta e as suas Luas. O nome da missão denomina-se de *Cassini-Huygens* devido aos dois componentes distintos que a compõe. Neste caso a *Cassini* é um satélite orbital (à volta de Saturno) e *Huygens* uma sonda com a missão de entrar na atmosfera de Titan e posteriormente enviar da sua superfície as primeiras imagens (SÉRGIO, 2010, p.23).

As sondas, enfim, exercem um papel extremamente relevante no processo de evolução humana. Nosso planeta não é inesgotável. Além disso, é preciso proteger a Terra de perigos espaciais, a exemplo de cometas e meteoros. O Universo é complexo e vasto, extraordinariamente misterioso, ainda que explorado atualmente no escopo do sistema solar. As descobertas feitas pelas sondas vão traçar o futuro dos humanos, inclusive em termos de sobrevivência.

## **2.1 COMUNICAÇÃO DA TERRA COM O ESPAÇO**

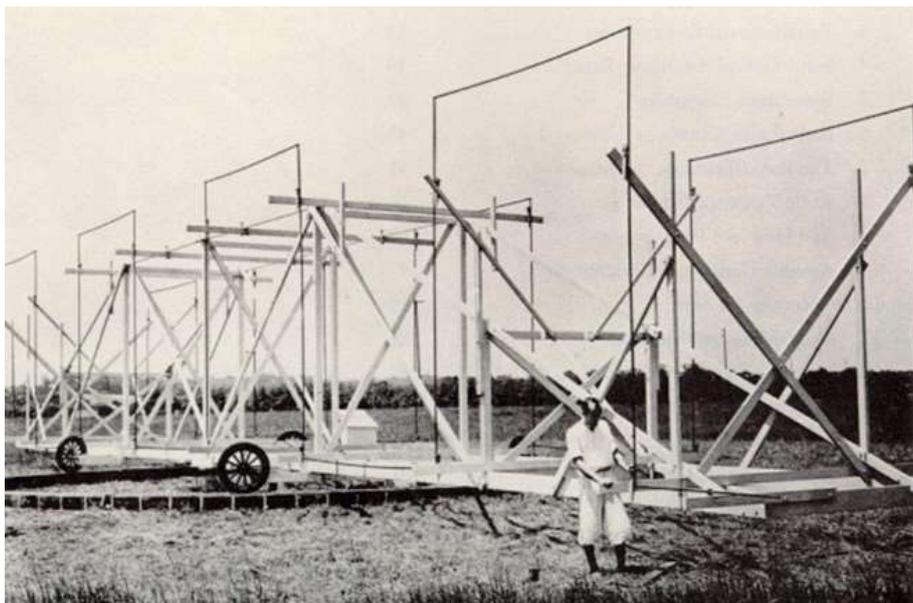
Sabe-se que um dos maiores feitos da humanidade é a exploração do espaço. Já se conquistou a Lua da Terra, conheceu-se cometas e asteroides, visitou-se alguns planetas e suas luas, enfim, já se avançou muito sobre o espaço. Contudo, é importante destacar que nada disso seria possível se não fosse os avanços nas telecomunicações espaciais. A astronomia não seria tão evoluída se não houvesse evolução na comunicação da Terra com o espaço.

A Radioastronomia nasceu no século passado e em pouco tempo tem-se revelado de extrema importância para o conhecimento do cosmos. Este interesse, não foi contudo, apenas importante para o estudo do universo, mas também de extrema importância para as Telecomunicações. Sem o aperfeiçoamento da tecnologia, fruto da radioastronomia, não teria sido possível a comunicação com as missões espaciais (SÉRGIO, 2010, p.12).

Essa evolução se deu, sobretudo, na área de radioastronomia, com um marco importante quem vem desde a descoberta do conceito do espectro de frequência. O espectro por ondas de rádio foi descoberto em 1860 pelo Físico James Clerk Maxwell, como consequência de estudos feitos por Michael Faraday, mas só foi comprovado por Heinrich Rudolph Hertz em 1886 (Sérgio, 2010, p.15).

Porém, o primeiro importante avanço na radioastromia ocorreu no período de 1905 a 1950, por Karl Jansky, que percebeu que no espaço aberto e nos oceanos era possível a irradiação de sinais de rádio. O projeto se deu a partir do estudo de interferências eletromagnéticas (ruídos) causadas pelas tempestades (Sérgio, 2010, p.16). Foi construída uma espécie de antena para analisar tais ruídos, que pode ser vista na Figura 9.

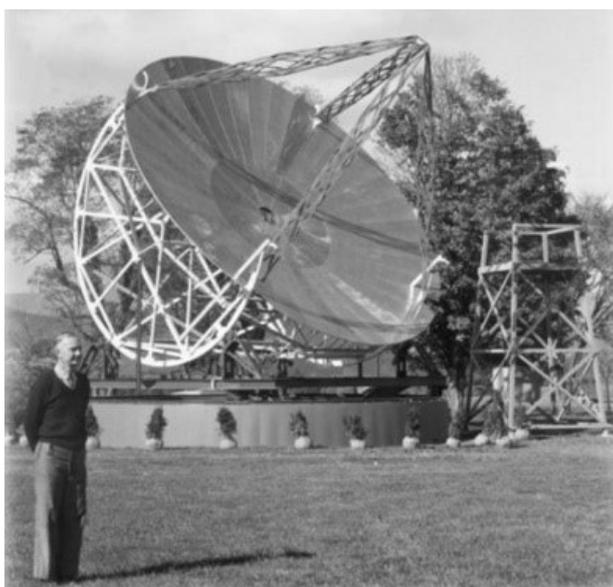
**Figura 9:** Karl Jansky e o primeiro radiotelescópio



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p.16).

Em 1937, GroteReber com base nos estudos de Karl Jansky projeta o então moderno radiotelescópio no quintal de sua própria residência, em Illinois. Era com o que hoje se parece com uma antena, e captava ondas de rádio de  $1,87\text{m}$  ( $\lambda$ ). O equipamento tinha capacidade de capturar emissões de radiação espacial, vinda além da superfície terrestre, ou seja, vindas do plano da Via Láctea. A Figura 10 ilustra o radioteléscópio de GroteReber (SÉRGIO, 2010, p.16).

**Figura 10:** Radiotelescópio de GroteReber



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p.16).

O grande avanço se deu no final da 2ª Guerra Mundial, numa corrida liderada pelos russos e americanos, também conhecida como Guerra Fria. Surgiram na época, então, novas tecnologias, desenvolvimentos e projetos, principalmente na comunicação extraterrestre.

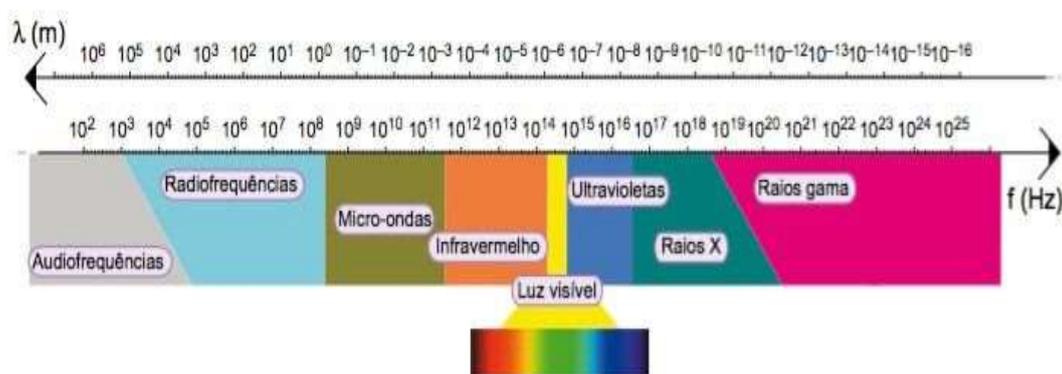
Em 1957 a união soviética ganhou a liderança da corrida, lançando o primeiro satélite artificial (*Sputnik I*) em órbita da Terra, responsável por enviar os primeiros sinais rádio extraterrestres. Apenas um mês depois foi lançado o *Sputnik II* que levou o primeiro ser vivo ao espaço, a cadela *Laika*. Os EUA responderam em 1958 com a *Explorer 1* que confirmou a existência do cinturão de *Van Allen*. Nesse mesmo ano os EUA enviaram ainda mais dois satélites, o *Vanguard 1* (primeiro satélite alimentado a energia solar) e o *Project SCORE* que se tratou do primeiro satélite de comunicações. Como se verificou o ano de 1958 foi claramente dominado pelos americanos. Todavia o grande feito tinha sido já alcançado pelos russos em 1957 com *Sputnik* e este ano de paragem não foi propriamente por falta de ideias, mas porque se preparavam para ir mais além (SÉRGIO, 2010, p.21).

Há quem diga que se não fosse a imbecilidade dos russos e americanos na corrida espacial as tecnologias diversas não teriam evoluído tanto até os dias atuais. Era uma questão de confronto, disputa, inveja, concorrência, mas enfim a evolução ocorreu de fato, e certamente parte significativa dela se deve à Guerra Fria mesmo.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS NA COMUNICAÇÃO TERRA-MARTE

A transmissão é viabilizada devido a ondas que se propagam no espaço. Essas ondas possuem características físicas e uma delas é a frequência, daí surge o conceito de espectro de frequência. O escopo do espectro de frequência ilustra as faixas de frequência que são usadas na transmissão de dados, que são as bandas de transmissão por assim dizer. Uma banda de transmissão pode ser entendida como um canal ou canais onde o sinal trafega. Tipicamente o espectro é disciplinado pelo governo de cada país.

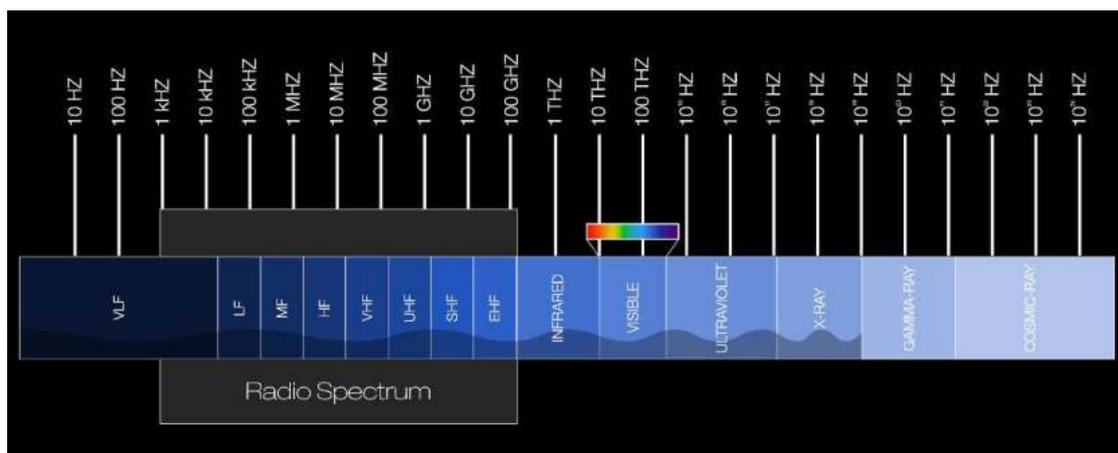
**Figura 11**– Espectro de frequência



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p.18).

A Figura 11 apresenta uma visão do espectro de frequência, destacando o comprimento de onda, o valor das faixas na base 10 e os nomes dados a algumas frequências. O espectro também pode ser entendido com suas faixas medidas em Hertz. O Hertz ou Hz é uma homenagem a Heinrich Rudolph Hertz. Fisicamente o Hertz é a quantidade de oscilações por unidade de tempo, tipicamente segundos. Por exemplo, 1KHz significa que há 1.000 oscilações por segundo na transmissão dos dados. Isso é ilustrado na Figura 12.

**Figura 12:** Espectro de frequência destacando as frequências



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p. 20).

Tem-se que:

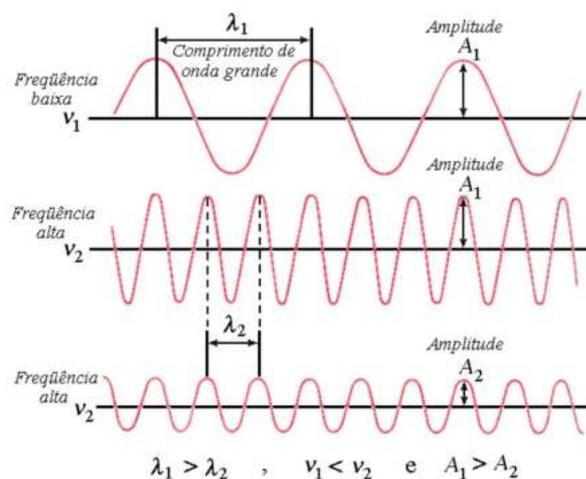
1. VLF – *VeryLow Frequency* (frequência muito baixa).
2. LF – *Low Frequency* (frequência baixa).
3. MF – *Medium Frequency* (frequência média).
4. HF – *High Frequency* (frequência alta).
5. VHF – *VeryHigh Frequency* (Frequência muito alta).
6. UHF – *Ultra High Frequency* (frequência ultra alta).
7. SHF – *Super High Frequency* (frequência super alta).
8. EHF – *Extremely High Frequency* (Frequência extremamente alta).

Numa questão mais técnica é importante conhecer alguns conceitos relacionados com a comunicação espacial. O primeiro deles é o comprimento de ondas. A palavra onda retrata a forma como é, fazendo-se uma analogia as ondas do mar. Já comprimento expressa uma

variação no tamanho da onda. A luz visível e as ondas de rádio são exemplos de ondas eletromagnéticas, a diferença é justamente o tamanho, enfim, o comprimento.

Outras características importantes do sinal, além do comprimento de onda, são a amplitude e a frequência. Observando a Figura 13, nota-se também que há diferenças entre as características do sinal, e isso implica diretamente na velocidade de transmissão.

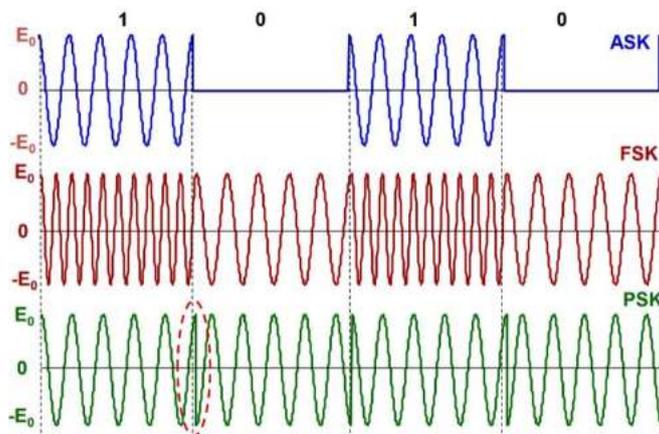
**Figura 13:** Características do sinal



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p. 24).

Outra importante característica técnica na transmissão no espaço é o tipo de modulação usada. Esta pode ser ASK, FSK ou PSK, dentre outras. A ASK é chamada de modulação por deslocamento de amplitude. A FSK é chamada de modulação por chaveamento de frequência e a PSK de modulação por deslocamento de fase (SÉRGIO, 2010, p.41).

**Figura 14:** Comparação das modulações ASK, FSK e PSK



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p. 25)

A modulação ASK possui baixa qualidade a longa distâncias e possui alta vulnerabilidade a ruídos, enquanto a FSK é justamente o contrário, sendo de alta qualidade a longa distância e média qualidade na questão do ruído. A PSK, no entanto, é melhor nos dois casos, na distância e no tratamento de ruídos. O ruído, enfim, é uma característica do sinal, principalmente na transmissão no espaço aberto, e ele pode ser tratado da seguinte maneira:

$$SR_{dB} = 10 \log \left( \frac{P_{SINAL}}{P_{RUIDO}} \right)$$

Onde  $SR$  é a relação sinal/ruído,  $P_{sinal}$  é a potência do sinal recebido e  $P_{ruído}$  é o ruído presente no canal de comunicação.

O ruído tem influência direta na taxa de transmissão quanto maior for o ruído maior será a probabilidade da taxa de erro, ou seja, maior será o BER (*Bit Error Rate* – Taxa de Erro de Bit). Daí a necessidade de técnicas avançadas e eficientes de modulação, justamente para tratar a questão da taxa de erro na transmissão.

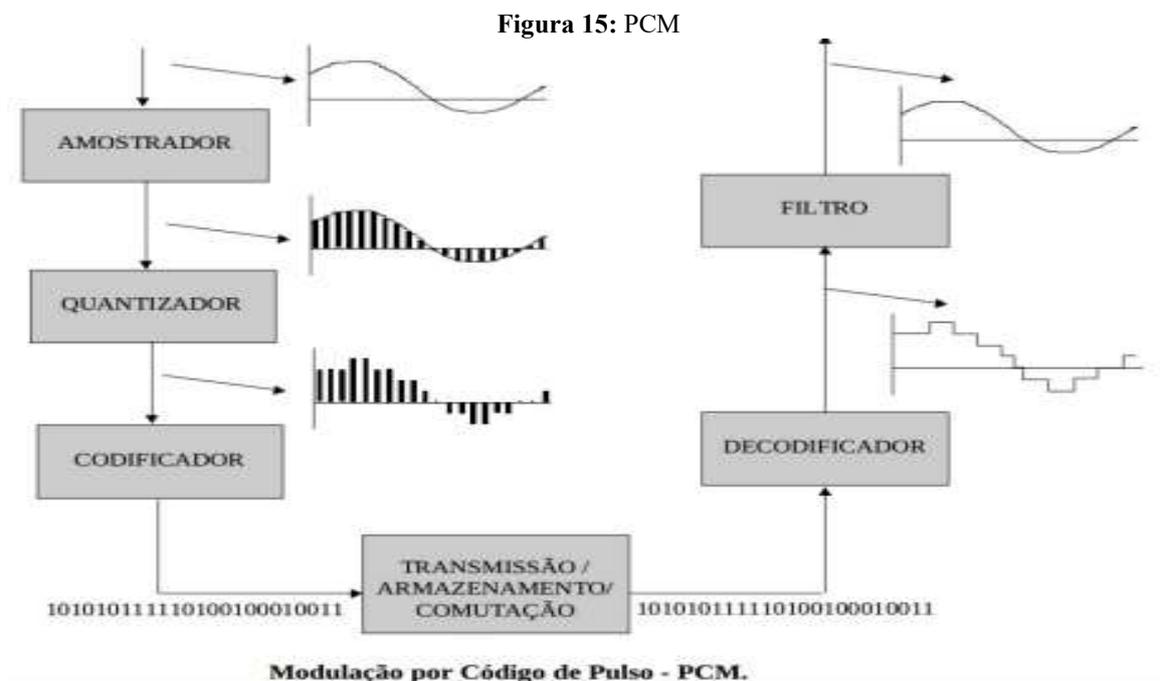
Outra importante questão é o atraso na transmissão, também conhecido como *delay*. O atraso do tempo de ida e volta de um sinal da Terra para Marte varia de 4 a 24 minutos, a depender da posição da Terra e de Marte e suas órbitas. É um tempo relativamente pequeno se considerada a distância entre os dois planetas, que é de aproximadamente 55 milhões de quilômetros, na situação em que Marte está do lado oposto do Sol quando se pensa em seu posicionamento frente a Terra.

Dessa forma a comunicação não pode ser realizada em tempo real. Com base nesse delay as agências espaciais já se planejam no sentido de tornar a comunicação eficiente. Elas fazem isso deixando os comandos planejados, após calcularem o tempo de ida e volta do sinal, para que se possa compreender a autonomia das ações. Isso garante que os comandos sejam enviados com tempo para que as sondas executem as ações que precisam executar. Outras questões importantes na comunicação Terra-Marte são:

1. **Modulação:** os dados digitais são convertidos em um sinal analógico que pode ser transmitido. A modulação por pulsos codificados (PCM) é o tipo de modulação mais comumente usada (SÉRGIO, 2010, p. 77).
2. **Codificação:** A redundância é adicionada aos dados para torná-los mais resistentes a erros. A codificação de verificação de erros (FEC) é o tipo de codificação mais comumente usada (SÉRGIO, 2010, p. 77).

3. **Amplificação:** Os pulsos modulados e codificados são amplificados para que possam ser transmitidos com a potência necessária para chegar à estação terrestre (SÉRGIO, 2010, p. 77).
4. **Compressão:** As imagens podem ser compactadas para reduzir seu tamanho, o que economiza largura de banda e tempo de transmissão (SÉRGIO, 2010, p. 77).
5. **Segmentação:** As imagens podem ser divididas em segmentos menores para facilitar a transmissão e a recepção (SÉRGIO, 2010, p. 77).
6. **Reconstrução:** As imagens podem ser reconstruídas a partir de seus segmentos.

Para que se compreenda de forma assertiva o PCM (*Pulse Code Modulation* – Modulação por Código de Pulso) devido sua importância, devido a sua transmissão de sinais analógicos. A Figura 15 mostra como o PCM funciona.

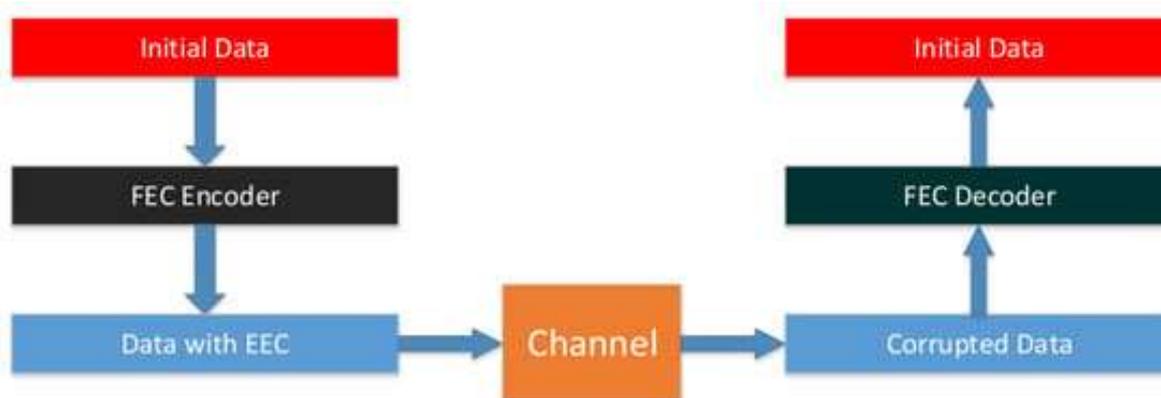


Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p. 25)

Outra técnica importante usada na comunicação Terra-Marte é chamada FEC (*Forward Error Correction*) que também trata de erros de transmissão. O FEC é uma técnica onde o remetente inclui informações de correção de erros nos dados enviados, permitindo ao receptor detectar e corrigir erros em um canal ruidoso. Embora isso aumente a quantidade de dados, possibilita a correção de erros causados por ruídos ou interferências.

No entanto, essa adição pode resultar em mais pacotes de dados. Sistemas que utilizam FEC podem tolerar certa taxa de erro de bit, dependendo da relação sinal-ruído, sendo úteis em ambientes desafiadores de comunicação. A Figura 16 mostra como FEC funciona. Dá para perceber que o FEC negocia o erro ponto-a-ponto como se fosse um protocolo de rede, atuando no mesmo nível do Emissor e do Receptor.

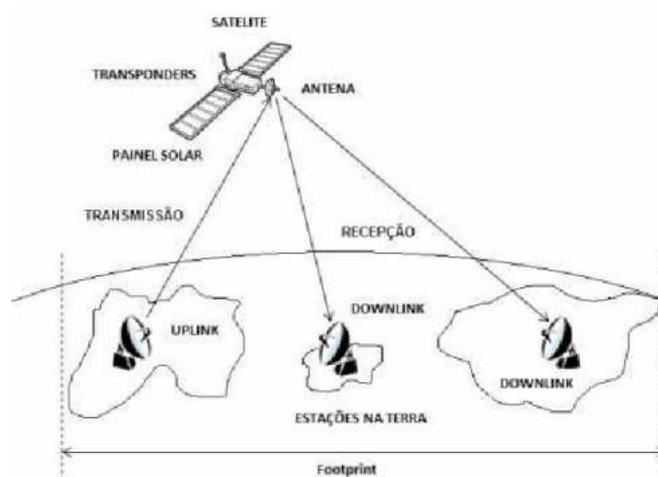
**Figura 16:** Emissor e do Receptor



Fonte: NRAO/AUI (apud Sérgio, 2010, p. 25)

A transmissão tipicamente usada é via radiofrequência (RF) ou laser (GUIMARÃES, 2015). Estações enviam informações aos satélites por meio de sinais de alta potência e frequência elevada (UHF de 30MHz – 3GHz). O satélite atua como canal de comunicação entre transmissor e receptor, utilizando ondas eletromagnéticas para transmitir dados, voz e vídeo entre dispositivos. A figura 17 ilustra essa técnica.

**Figura 17:** Visão da transmissão satélite-antena



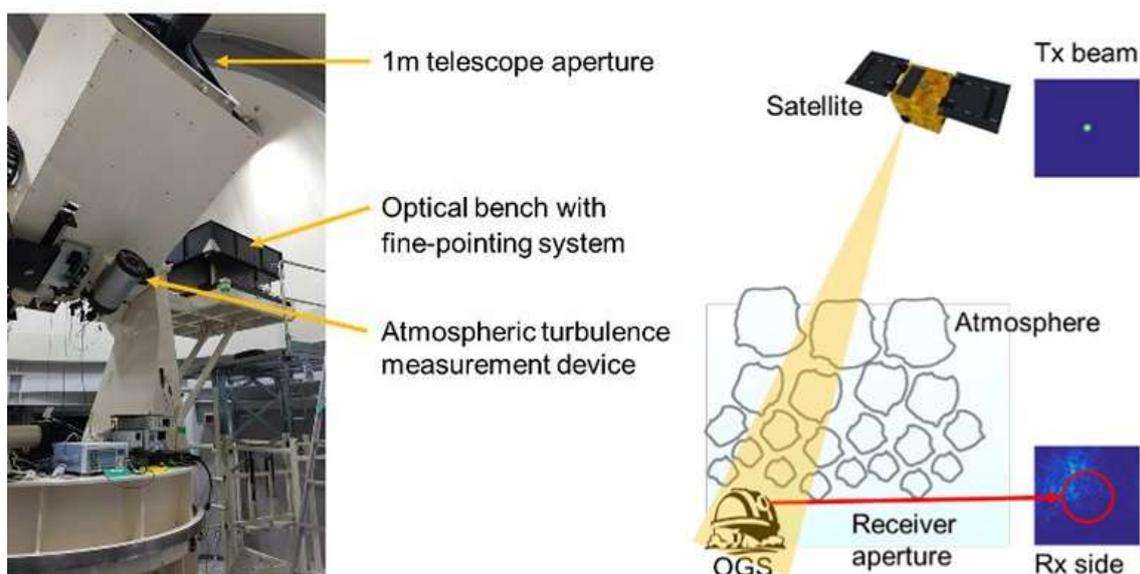
Fonte: SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

## 2.3 A COMUNICAÇÃO VIA LASER

Similarmente, a comunicação laser se origina em uma estação terrestre (ou em Marte) que envia sinais ao satélite. Contudo, ao invés de ondas de rádio, a transmissão a laser utiliza feixes de luz para enviar informações. Esse método permite a transmissão de grandes volumes de dados a velocidades sem precedentes, codificando sinais óticos nas oscilações desses feixes de luz e transmitindo mensagens por feixes infravermelhos.

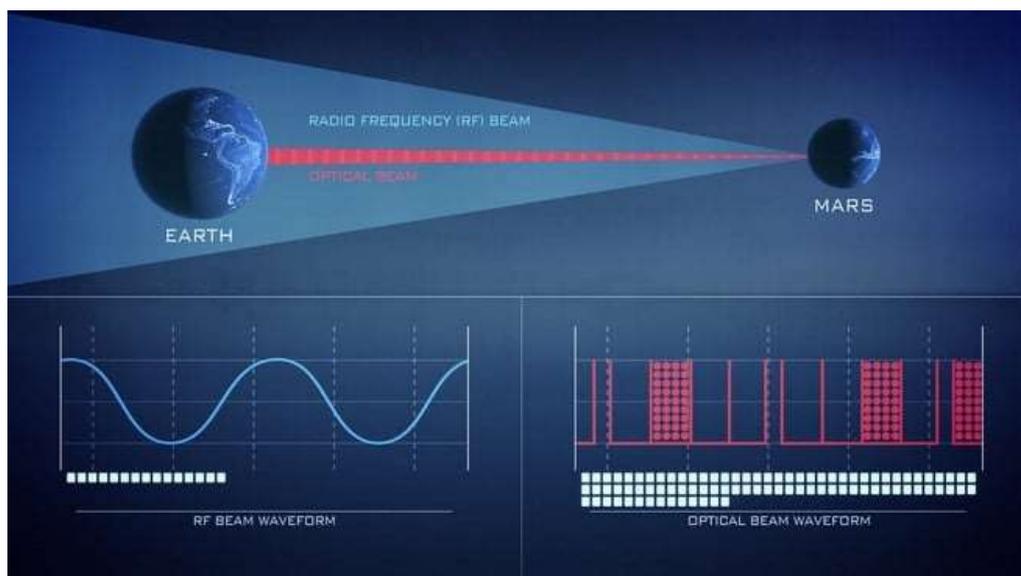
Então, como na transmissão via RF, a comunicação a laser pode ser unidirecional ou bidirecional. Essa tecnologia é utilizada também para transferir dados entre satélites, representando um avanço significativo. Ao evitar a necessidade de passar por uma estação terrestre, reduz consideravelmente a latência na comunicação entre satélites, proporcionando uma conexão mais direta e ágil. A Figura 18 ilustra isso.

**Figura 18:** Outra visão da comunicação via satélite.



Fonte: SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

As comunicações por radiofrequência são amplamente usadas. A NASA, que historicamente depende de ondas de rádio para comunicação Terra-Espaço, está testando a comunicação a laser para agilizar esse processo. O laser pode permitir um aumento de até 100 vezes na transmissão de dados, reduzindo o tempo de transmissão de informações de Marte de nove semanas para nove dias, prometendo avanços significativos para missões espaciais futuras. No entanto, a precisão do apontamento é crucial para a comunicação a laser, pois pequenos desvios podem resultar na perda do sinal (SÉRGIO apud Guimarães, 2015).

**Figura 19:** Visão da transmissão a laser

**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

Com relação a segurança, a Transmissão de RF é garantida por criptografia e medidas de segurança, protegendo os dados e a privacidade contra violações. Além disso, a transmissão de RF é mais suscetível a interferências eletromagnéticas e outras, oferecendo uma conexão mais confiável. Contudo, à medida que a distância aumenta, o sinal sofre atenuação, o que pode resultar em uma qualidade de transmissão mais fraca. Já na transmissão a laser, a tecnologia laser proporciona uma camada adicional de proteção devido à sua natureza direcional e menor vulnerabilidade a interferências eletromagnéticas. Pode ser combinada com criptografia para reforçar a segurança e a privacidade das comunicações. No entanto, os sistemas de comunicação a laser exigem alta precisão. Pequenos desvios, mesmo em alguns graus, podem impedir o alvo desejado, afetando a transferência de dados.

### 3 MISSÕES REALIZADAS

A exploração de Marte tem sido marcada por uma notável evolução tecnológica, especialmente nos sistemas de comunicação que garantem o envio de dados cruciais para a Terra. Inicialmente, a corrida espacial entre a União Soviética e os Estados Unidos dominou as primeiras tentativas de alcançar o Planeta Vermelho. Contudo, nas últimas décadas, o cenário se expandiu, tornando-se um esforço verdadeiramente global, com contribuições significativas também de agências espaciais da Europa, China, Índia, Emirados Árabes Unidos e Japão. Para ilustrar esse progresso e detalhar as capacidades de cada empreitada, a tabela a seguir resume os dados técnicos das principais missões realizadas.

**Tabela 4:** Tabela com informações técnicas sobre missões realizadas.

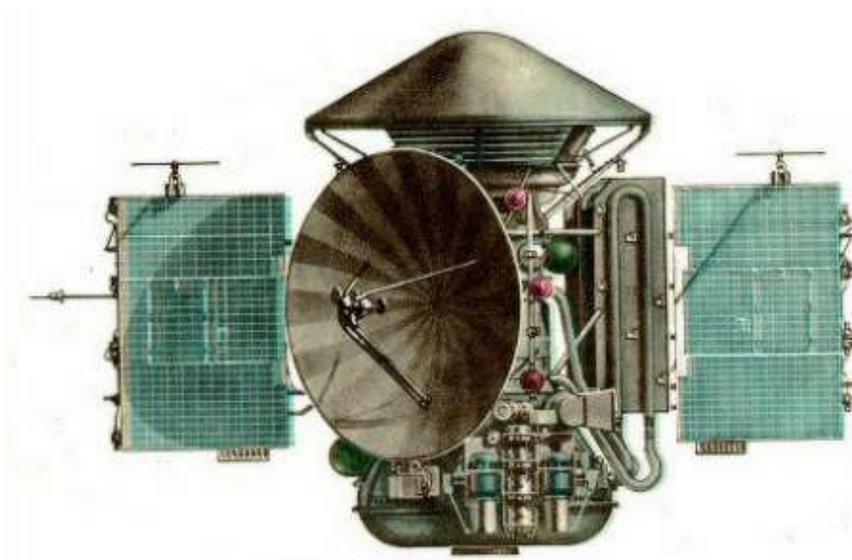
Sonda / Missão	Agência / Ano	Sistema de Modulação	Frequências (Tx/Rx)	Taxa de Transmissão (Máxima)
Mars 2 e 3	URSS / 1971	FSK (telemetria)	Bandas decimétricas (UHF). Frequências específicas não disponíveis.	Dados de vídeo perdidos; telemetria limitada.
Viking 1 e 2	EUA / 1975	PCM/PSK/NRZ	Orbiter-Terra: Downlink Banda S (~2.3 GHz) e X (~8.4 GHz); Uplink Banda S (~2.1 GHz)	16 kbps (Lander-Orbiter)
Mars Express	ESA / 2003	BPSK, QPSK	Downlink (Tx): Banda X (~8.4 GHz) e Banda S (~2.2 GHz). Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz)	Até 230 kbps
Mars Odyssey	EUA / 2001	BPSK	Downlink (Tx): Banda X (~8.4 GHz); Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz); Relay (UHF): ~400 MHz	128 kbps (Banda X)
Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)	EUA / 2005	BPSK, QPSK, OQPSK	Downlink (Tx): Banda X (~8.0 GHz) e Ka (~32 GHz); Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz); Relay (UHF): ~400 MHz	Até 6 Mbps (Banda X)
Curiosity	EUA / 2012	BPSK, QPSK (via rádio Electra)	Relay (UHF): ~400 MHz; DTE Downlink (Tx): Banda X (~8.4 GHz); Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz)	Até 2 Mbps (via MRO); Até 32 kbps (Direto para Terra)
Mars Orbiter Mission (MOM) / Mangalyaan	ISRO / 2013	BPSK	Downlink (Tx): Banda S; Uplink (Rx): Banda S. Frequências específicas não detalhadas publicamente.	~40 kbps

Sonda / Missão	Agência / Ano	Sistema de Modulação	Frequências (Tx/Rx)	Taxa de Transmissão (Máxima)
ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO)	ESA-Roscosmos / 2016	PCM/PSK/PM	Downlink (Tx): Banda X (~8.4 GHz); Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz); Relay (UHF): ~400 MHz	Até 2 Mbps
Hope Probe	UAESA / 2020	BPSK	Downlink (Tx): Banda X; Uplink (Rx): Banda X	1.6 a 5 Mbps
Tianwen-1 (Orbit-er e Rover Zhurong)	CNSA / 2020	BPSK, QPSK	Orbiter-Terra: Downlink e Uplink em Banda X e S. Rover-Orbiter: UHF	Até 4 Mbps (Orbiter-Terra); ~16 kbps (Rover-Orbiter)
Perseverance	EUA / 2020	BPSK, QPSK, GMSK (via rádio Electra)	Relay (UHF): ~400 MHz; DTE Downlink (Tx): Banda X (~8.4 GHz); Uplink (Rx): Banda X (~7.1 GHz)	Até 2 Mbps (via MRO)

As primeiras sondas a pousarem em Marte foram as Mars 1, 2 e 3 (URSS, 1971), mas elas não conseguiram enviar dados de volta à Terra. O peso das sondas Mars 2 e 3 era de aproximadamente 1.210 kg (cerca de 2.668 libras) durante o lançamento. O tamanho era cerca de 4,1 metros de comprimento e 2,3 metros de largura com os painéis solares abertos para gerar energia. A comunicação foi estabelecida após o pouso em 2 de dezembro de 1971, mas infelizmente foi perdida apenas 20 segundos após o pouso. Portanto, a Mars 3 teve uma breve operação funcional na superfície de Marte. No verão de 1976, um par de naves espaciais orbital e de pouso, chamadas Viking, chegaram a Marte. Após entrar em órbita pela primeira vez, o módulo de pouso da Viking 1 pousou no Planeta Vermelho em 20 de julho. Tornou-se a primeira nave espacial dos EUA a pousar em outro planeta.

A Mars-2 e Mars-3 transportavam as câmeras fotográficas Vega (52 mm) e Zulfar (350 mm), que transportavam suficiente quantidade de filme para obterem 480 imagens por câmera (USP, 2020).

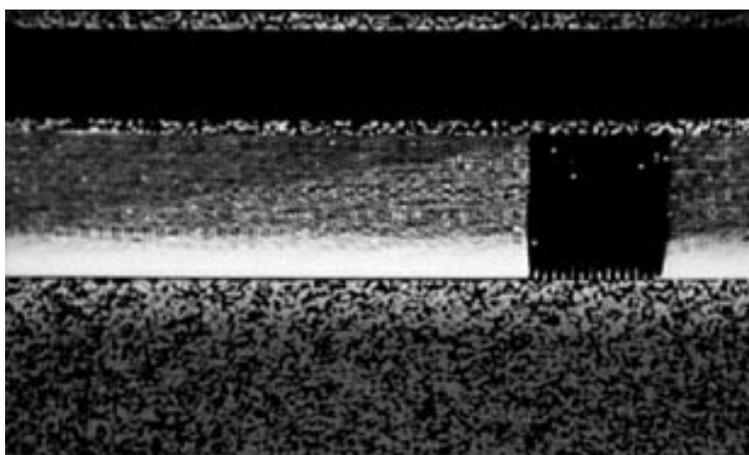
**Figura 20:** Sonda Mars (NASA).



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

O módulo de descida SA Mars-3 só funcionou durante 20 segundos enviando alguns dados e 79 linhas de vídeo. Esta imagem mostra supostamente a superfície de Marte. Após muitas análises os cientistas revelaram que a imagem não continha qualquer informação, não sendo certamente uma representação do horizonte marciano como foi sugerido por algumas pessoas.

**Figura 21:** Foto supostamente da superfície de Marte.



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

O Programa Viking (EUA, 1975) constituiu de um par de sondas espaciais (Viking 1 e Viking 2), cada uma composta por duas partes principais – uma projetada para fotografar a superfície do planeta a partir da órbita, e outra para estudar o solo marciano após o pouso.

Enquanto a Viking 1 foi lançada em 20 de agosto e a Viking 2 em 9 de setembro de 1975, os primeiros dados de ambas só começaram a chegar à Terra no ano seguinte, devido a lentidão de transmissão de dados.

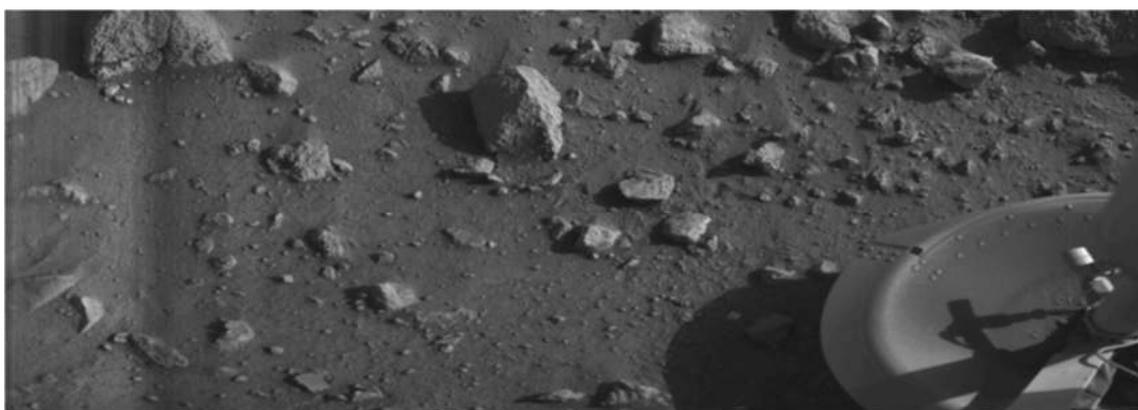
**Figura 22:** Sonda Viking (NASA).



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

A figura 23 ilustra a primeira imagem tirada da superfície de Marte, realizada pela sonda Viking 1, explorando o Monte Sharp, uma montanha vulcânica na cratera Gale.

**Figura 23:** Primeira imagem tirada da superfície de Marte



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

A Curiosity (EUA, 2012), um rover que está atualmente ainda em uso, vide figura 24. O Curiosity tem uma gama de instrumentos que estão sendo usados para estudar a geologia,

clima e história de Marte. A Curiosity transmite dados para os satélites Odissey e MRO em um intervalo de oito minutos, tempo durante o qual ambos os satélites estão dentro do alcance de suas antenas. Nesse período, podem ser enviados de 100 a 250 megabits de informação, uma quantidade substancial se comparada a tecnologia disponível na época da sua concepção.

Mars Reconnaissance Orbiter é uma sonda norte-americana que tem a finalidade de procurar evidências de existência de água, no passado remoto de Marte. Trata-se de uma sonda enviada pela NASA, sob os cuidados do Laboratório de Jato-propulsão, que está encarregado de gerenciar esta sonda.

**Figura 24:** Sonda Curiosity na órbita de Marte



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

A transmissão dos dados dos satélites para a Terra é feita com diferentes taxas de transferência. O MRO, sendo mais recente, pode transmitir até 6 megabits por segundo, enquanto o Odissey, mais antigo, tem uma capacidade de transmissão de 12 kilobits por segundo. Em comparação, o Curiosity pode enviar dados à velocidade de 500 bits a 32 kilobits por segundo, mais lento do que a antiga conexão discada da Internet.

A Perseverance (EUA, 2020), um rover, mostrado na figura 25, pousou em Marte em 18 de fevereiro de 2021 às 17h55min (Horário de Brasília) procurando sinais de vidas passadas, carregando um helicóptero Ingenuity, que é o primeiro veículo voador a ser lançado

e controlado em outro planeta. Após pousar, o rover Perseverance enviou suas primeiras imagens do solo marciano, inicialmente afetadas pela poeira do pouso e proteções ativadas nas câmeras. Posteriormente, imagens em alta definição, de impressionante qualidade, foram divulgadas pela NASA. O rover conta com 23 câmeras, cada uma com funções específicas.

As fotos capturadas são enviadas para a Terra de duas maneiras: através da antena UHF, que se comunica com os satélites da NASA orbitando Marte, ou por meio das antenas de Banda X, operando em alta frequência (entre 7 e 8 GHz), uma de alto ganho e outra de baixo ganho, que se conectam diretamente ao nosso planeta.

**Figura 25:** Sonda Perserverance (NASA)



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

A Agência Espacial Europeia (ESA) consolidou sua presença em Marte com a missão *Mars Express*, lançada em 2003. Este orbitador tem sido fundamental para o estudo detalhado da atmosfera e da superfície do planeta, operando há mais de duas décadas e fornecendo dados cruciais sobre a presença de água e a composição atmosférica. Veja uma ilustração na Figura 26 Em colaboração com a Roscosmos, a ESA também lançou o programa ExoMars, que inclui o Trace Gas Orbiter (TGO) de 2016, dedicado a analisar gases raros na atmosfera marciana que poderiam indicar atividade geológica ou biológica.

**Figura 26:** Orbitador Mars Express



Fonte: NASA (2025).

A Administração Espacial Nacional da China (CNSA) alcançou um feito notável com a missão Tianwen-1, lançada em 2020. Foi a primeira missão do país a Marte e conseguiu realizar três operações de uma só vez: orbitar o planeta, pousar na superfície e operar um rover, o Zhurong. Na Figura 27 está o Zhurong. Esta missão demonstrou a capacidade avançada da China na exploração do espaço profundo, posicionando-a como uma potência espacial (CHINA NATIONAL SPACE ADMINISTRATION, 2021).

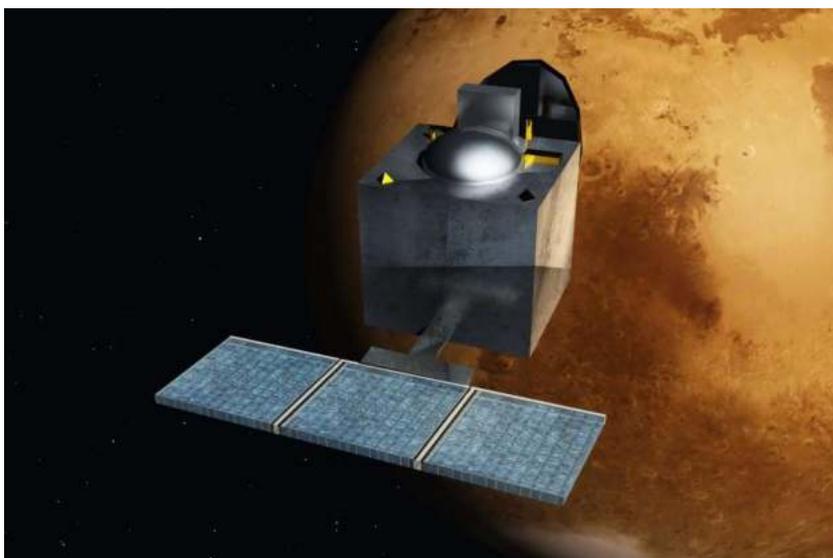
**Figura 27:** Rover Zhurong na superfície de Marte.



Fonte: CNSA (2021).

A Organização Indiana de Pesquisa Espacial (ISRO) lançou, em 2013, a *Mars Orbiter Mission* (MOM), também conhecida como Mangalyaan (Ilustração na Figura 28), que conseguiu atingir a órbita de Marte já na primeira tentativa. O custo total da missão foi de aproximadamente US\$ 74 milhões (WIRED, 2017). Em comparação, a missão Mars Express, lançada pela ESA em 2003, teve um orçamento estimado de €150 milhões (em valores de 1996), equivalente a aproximadamente US\$ 180 milhões na cotação atual (ESA, 2003).

**Figura 28:** Ilustração do Mangalyaan



**Fonte:** THE PLANETARY SOCIETY (2025).

A Agência Espacial dos Emirados Árabes Unidos (UAESA) marcou sua entrada na exploração interplanetária com a missão Emirates Mars Mission e sua sonda Hope Probe, lançada em 2020. Diferentemente de outras missões que realizam pouso, a Hope Probe permanece em órbita marciana, proporcionando o primeiro estudo contínuo da atmosfera do planeta ao longo de um ano marciano. É possível ver uma ilustração desta sonda com características técnicas na Figura 29. Esta missão não apenas representa um marco significativo para o mundo árabe, mas também serve como inspiração para uma nova geração dedicada à ciência e tecnologia na região.

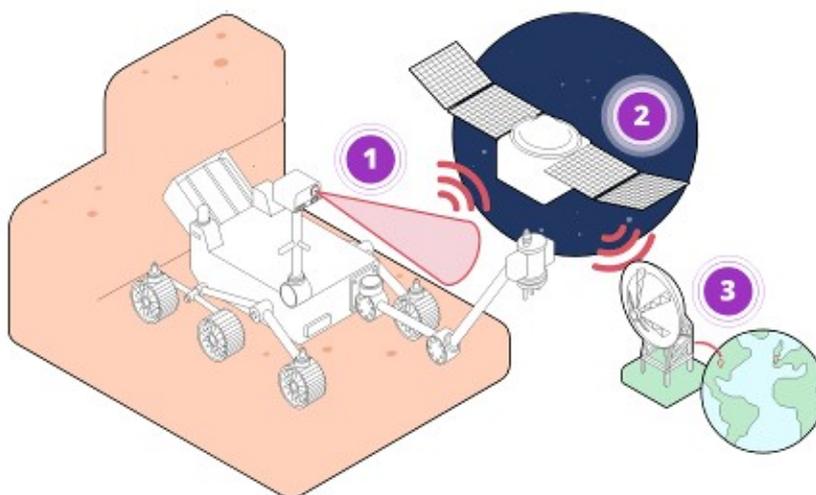
**Figura 29:** Sonda Hope Probe da missão Emirates Mars Mission.



**Fonte:** UNITED ARAB EMIRATES SPACE AGENCY (2025).

A Figura 30 ilustra bem como ocorre a comunicação de uma sonda em Marte com a Terra.

**Figura 30:** Comunica sonda com a Terra (pesquisa direta)



**Fonte:** SÉRGIO (apud Guimarães, 2015).

A sonda, de posse dos dados coletados pelos seus sensores, câmeras e instrumentos, os envia pelo canal de comunicação que liga a sonda ao satélite (o nº 2 da Figura 30). São dados organizados em pacotes, e são de fato esses pacotes que são enviados à Terra (Ramatis, 2019).

O satélite em questão está mais próximo de Marte do que da Terra, em síntese localizado na órbita de Marte, a exemplo dos satélites Mars Reconnaissance (MRO) e o Mars Odyssey. É o tipo de transmissão mais comum, e não sobrecarrega a sonda ou a obriga a uma comunicação mais complexa, pois terá que enviar os dados para uma distância relativamente curta. Com isso, a sonda economiza recursos, a exemplo de energia. Daí os satélites armazenam os dados recebidos e no momento planejado os envia para Terra, tipicamente considerando a melhor posição de Marte com a Terra (SANTOS JUNIOR, 2023).

O uso do satélite como elemento intermediário é uma maneira de transmitir. Porém, a transmissão também pode ocorrer de forma direta, da sonda para a Terra. Neste caso, a sonda envia os dados direto para as antenas da NASA na Terra, ou de outras agências espaciais. Seja usando satélites ou de maneira direta, quando prontos e armazenados, os pacotes são transmitidos via radiofrequência por antenas extremamente potentes para a Terra. Chegando na Terra, os dados são recebidos por uma das 3 estações localizadas ou nos EUA (Califórnia), ou na Espanha ou na Austrália - a depender da posição da terra, e isso é feito por uma rede de antenas chamada de DSN (*Deep Space Network*) que são interligadas através de uma rede de fibras ópticas.

A partir da estrutura DSN os dados recebidos são processados, que no caso vêm codificados, e são convertidos para o formato original, tais como fotos, imagens e dados científicos. A partir daí os dados convertidos são enviados para os centros de controle das estações terrestres, quando chegam para os especialistas, geralmente engenheiros, cientistas, matemáticos, físicos, astrônomos (MARTINO, 2015).

O primeiro desafio nessa transmissão é justamente a distância de Marte para a Terra, que varia de 55 a 401 milhões de quilômetros aproximadamente. Isso implica num atraso de até 24 minutos, que depende justamente da posição na qual Marte está da Terra. Por isso, essa transmissão é assíncrona, que é mais apropriada para longa distância. Também são considerados nessa transmissão a questão do ruído, muito comumente causado por radiações cósmicas e pela própria posição entre os dois planetas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As telecomunicações evoluíram e junto com elas muitas façanhas puderam ser realizadas pelo homem, uma delas é a realidade espacial, que atualmente é bem representada nos estudos feitos com sondas. As sondas produzem estudos em relação a outros planetas e suas luas, cometas, asteroides, atualmente no sistema solar, mas em breve além dessa fronteira. As missões atualmente mais interessantes são as de exploração de Marte, um planeta promissor, pois possui características supostamente favoráveis aos humanos.

Entretanto, a comunicação espacial da Terra com as sondas é algo complexo. Daí a evolução em questões tais como sinais, antenas, canais, ruído e taxa de erro, velocidade de transmissão, banda, além, é claro, dos próprios equipamentos, a exemplo dos satélites e das sondas, que também acompanham essa evolução. De fato, a humanidade está evoluída nesse sentido, e a presença de satélites e o envio de sondas para Marte é uma realidade atualmente frequente e realizada com certo grau de sucesso.

Essa comunicação ocorre diretamente das sondas em Marte com estações terrenas ou por intermédio de satélites que orbitam os dois planetas. Os dados são transmitidos em forma de pacotes, que são recebidos na Terra, decodificados e repassados para especialistas, geralmente engenheiros, cientistas, matemáticos, físicos, astrônomos. A verdade é que com a chegada frequente de pacotes sabe-se mais sobre o planeta, sobre sua superfície, atmosfera, rochas, montanhas, clima, tempestades, solo, existência de água, gelo, dentre outras características e condições científicas para que o planeta se apresente promissor para nós humanos no futuro.

Enfim, as sondas são realidades tecnológicas e científicas que fazem parte do processo de evolução humana, assim como também fazem parte as telecomunicações, área extremamente relevante nesse contexto. O que se tem atualmente são poderosas tecnologias de comunicação capazes de produzir transmissões de dados de forma eficiente, com velocidade, largura de banda, canal, tratamento de ruído, taxa de erros, dentro outros aspectos físicos, com o uso refinado de radiofrequência (radioastronomia) e da transmissão a laser. As telecomunicações são realidades e é o elemento fundamental na comunicação de uma sonda em Marte com as estações terrestres.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABÍLIO, Ludmila Costhek. Uberização: a era do trabalhador just-in-time?. **Estudos avançados**, v. 34, n. 98, p. 111-126, 2020.

FLORENZANO, TEREZA GALLOTTI. **Os Satélites e suas Aplicações**. Série Especializando, SindCT, São José dos Campos, São Paulo, 2008.

GENNARO, Sérgio Augustus Di; DURAND, Fábio Renan. **Estudo de Comunicação via Satélite**. UNOPAR, 2º Congresso Nacional de Extensão Universitária, 11º Encontro de Atividades Científicas, Londrina, 2008.

GUIMARÃES, Jonathan de Campos. **Sistemas de Comunicação Espacial por Laser para Aplicações em Defesa**. Academia Militar, novembro de 2015.

MARTINO, Luís Mauro Sá; MARQUES, Ângela Cristina Salgueiro. **Teorias da Comunicação: Processos, Desafios e Limites**. Editora Plêiade, São Paulo, 2015.

MARTINS, Zita. Procura de Vida em Marte: Futuras Missões ao Planeta Vermelho. **Consciências**, pp.157-164, 2011.

MATA, José Nunes da. **História Autêntica do Planeta Marte**. Editora Porto Press, Universidade do Porto, 1ª Edição, Porto, 2019.

MENEZES, Marcos Tibério Aderaldo; XAVIER, Eliude Maia. **Astronomia, Movimento e Sondas Espaciais**. Editora Din.CE, Fortaleza, Ceará, 2022.

QUEIROZ, Kurios Pinheiro et al. Uma solução para o sistema brasileiro de coleta de dados ambientais baseada em nanossatélites. **Holos**, v. 7, p. 132-142, 2018.

REMATÍS, Hercílio Maes. Marte: O Futuro da Terra. **Conhecimento Editora**, 1ª Edição, São Paulo, 2019.

RIBEIRO, JOAO BAPTISTA BAYAO. **Telecomunicações**. UFF, Volume1, 1ª Edicao, J. B. Bayão, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS JUNIOR, Omar Ferreira dos; et al. **O Caminho para Levar o Homem ao Planeta Marte**. UEFS, Caderno de Física, Bahia, 2023.

SÉRGIO, RICARDO. **Comunicações com Missões Espaciais**. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Física e Astronomia, outubro de 2010.

SILVEIRA, MARCELO Assis da. Sondas Espaciais. **Research Gate**, Conferece Paper, 2013.

SOUZA, FERNANDO ALVES; et al. **Fudamentos da Astronomia – Marte: Características, Colonização e Habitação**. Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2013.

TANENBAUM, Andrew S; WETHERALL, David J. **Computer Networks**. Prentice Hall, 2010.

CHINA NATIONAL SPACE ADMINISTRATION. *Tianwen-1 mission marks 1st year on Mars*. 2021. Disponível em: <https://www.cnsa.gov.cn/english/n6465652/n6465653/c6840321/content.html> . Acesso em: 15 ago. 2025.

NASA. *Mars Express*. Disponível em: <https://science.nasa.gov/mission/mars-express>. Acesso em: 15 ago. 2025.

WIRED. *These Scientists Sent a Rocket to Mars for Less Than It Cost to Make “The Martian”*. 2017. Disponível em <https://www.wired.com/2017/03/these-scientists-sent-a-rocket-to-mars-for-less-than-it-cost-to-make-the-martian>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ESA. *A New Approach*. 2019. Disponível em: <https://sci.esa.int/web/mars-express/-/2098-a-new-approach>. Acesso em: 15 ago. 2025.

ESA. *Mars Express overview*. 2023. Disponível em: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Mars\\_Express\\_overview](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Mars_Express_overview). Acesso em: 15 ago. 2025.

ESA. *ExoMars Trace Gas Orbiter and Schiaparelli Mission (2016)*. 2023. Disponível em: <https://sci.esa.int/web/mars/-/46124-mission-overview>. Acesso em: 15 ago. 2025.

THE PLANETARY SOCIETY. *Mangalyaan*. 2025. Disponível em: <https://www.planetary.org/space-images/mangalyaan> . Acesso em: 15 ago. 2025.

UNITED ARAB EMIRATES SPACE AGENCY (UAESA). *Emirates Mars Mission – Hope Probe*. 2025. Disponível em: <https://www.emiratesmarsmission.ae/> . Acesso em: 15 ago. 2025.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Entrega da Versão Final de TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega da Versão Final de TCC
<b>Assinado por:</b>	Jose Robson
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jose Robson Silva Machado, DISCENTE (20202430035) DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES - JOÃO PESSOA**, em 11/09/2025 14:04:35.

Este documento foi armazenado no SUAP em 11/09/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1605965

Código de Autenticação: 272c026e2f



	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### TCC

<b>Assunto:</b>	TCC
<b>Assinado por:</b>	Gustavo Cavalcante
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gustavo Araujo Cavalcante, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCSTST-JP**, em 19/09/2025 20:04:21.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/09/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1616094

Código de Autenticação: 941cac45a0

